

جلسه اول

تعیین رطوبت خاک

مقدمه :

این آزمایش برای تعیین درصد وزنی رطوبت خاک و سنگ بکار می رود. درصد رطوبت عبارتست از نسبت وزن آب موجود در یک توده خاک به وزن خشک همان توده خاک که بصورت درصد بیان می شود. دراکثر آزمایشهای مکانیک خاک، لازم است درصد رطوبت خاک تعیین گردد. این آزمایش نمی تواند درصد رطوبت واقعی مصالحی که دارای مقدار قابل توجهی کانی های هالوزیت، مونت مورینیت و گچ است را به دست آورد همچنین در مصالحی که آب درون منافذ آنها دارای مقدار زیادی املاح محلول مثل کلرید سدیم (که در رسوبات دریایی وجود دارد) و یا مواد آلی هستند درصد رطوبت بدست آمده حقیقی نیستند. در خاکهای ریزدانه (چسبنده) پایداری و مقاومت خاک بستگی به درصد رطوبت آن دارد در این حالت رطوبت طبیعی خاک با نشانه های حد روانی و حد خمیری مقایسه می شود. در این آزمایش هرچه خاک ریزدانه تر باشد نیاز به نمونه برداری خاک کمتری است (بین ۱۰ گرم - ۵۰ گرم) و برعکس خاک درشت دانه بزرگتر از الک No.4 نیاز به خاک بیشتری است (بین ۵۰ گرم - ۱۰۰ گرم)

ابزار : ظروف *container* ، خاک مرطوب ، کاردک ، اون ، ترازو

روش انجام:

ابتدا هرسه ظرف را با ترازو اندازه می گیریم سپس مقداری خاک مرطوب که این مقدار خاک از منطقه بیرون آزمایشگاه نمونه برداری شد و بلافاصله مورد آزمایش قرار گرفت در داخل ۳ ظرف می ریزیم و دوباره وزن آنها را اندازه می گیریم در ضمن برای اینکه در نمونه ها اشتباهی رخ ندهد آنها را شماره گذاری می کنیم. سپس نمونه هارا بین ۱۶ تا ۲۴ ساعت در دمای $5^{\circ} \pm 110^{\circ}$ در اون قرار می دهیم سپس نمونه ها را دوباره وزن می کنیم و یادداشت می کنیم. حال می توان درصد رطوبت را از فرمول زیر بدست آورد :

$$\omega = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

W_1 = وزن ظرف خالی W_2 = وزن ظرف و خاک مرطوب W_3 = وزن ظرف و خاک خشک

$W_3 - W_1$ = وزن خاک خشک $W_2 - W_3$ = وزن آب

	W_1	W_2	W_3	$W_2 - W_3$	$W_3 - W_1$	ω
نمونه ۱	21.2 gr	115 gr	104.2 gr	10.8 gr	83 gr	13.01%
نمونه ۲	15.6 gr	109 gr	96.4 gr	12.6 gr	80.8 gr	15.6%
نمونه ۳	12.6 gr	89.9 gr	77.9 gr	12 gr	65.3gr	18.37%

$$\omega_{ave} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}{3} = \frac{13.01 + 15.6 + 18.37}{3} = 15.66\%$$

منابع خطا:

- ۱- خطای مربوط به ترازو
- ۲- تمیز نبودن قوطی ها
- ۳- دست خورده بودن نمونه ها
- ۴- اشتباه در خواندن وزن
- ۵- بالا بودن احتمالی دمای اون که باعث اکسیده شدن خاک و متصاعد شدن دی اکسید کربن و سوخته شدن خاک می شود.

جلسه دوم دانه بندی خاک

مقدمه :

اغلب خاکهای طبیعی شامل مخلوطی از دو یا بیشتر از شن و ماسه ولای ورس می باشند و بسیاری از آنها نیز شامل مقداری مواد آلی می باشند. به طور کلی اطلاعات حاصل از این آزمایش برای پیش بینی حرکت آب در خاک ، میزان نفوذ پذیری خاک ، حساسیت خاک در مقابل یخ زدگی و رفتار خاک در آب و هوای سرد ، خاصیت مویینگی ، استفاده به عنوان فیلتر وزهکش مفید است . دانه های ریزتر از *No.200* معمولا ارزش سازه ای ندارند . اهمیت ریزدانه ها در میزان رطوبتی است که جذب می کنند .

موارد کاربرد :

نامگذاری خاک طبق آیین نامه های موجود براساس آزمایش دانه بندی انجام می گیرد درشناسایی قرصه ها جهت استفاده های بعدی کمک قابل توجهی می کند . درطرح فیلتر هسته رسی درسدهای خاکی و طرح اختلاط بتن ، دانه بندی خاک اساس طراحی می باشد. دانه بندی خاک در پتانسیل عوامل مخرب نظیر رگاب و.... نقش مؤثری دارد . نوع دانه بندی خاک دروضعیت نفوذ پذیری مصالح عامل مهمی است ومقاومت برشی خاک نیز به طور اساسی از آن تأثیر می پذیرد

دانه بندی : تعیین اندازه ذرات خاک که به صورت درصدی از وزن خشک کل خاک صورت می گیرد.

طبقه بندی: مرتب کردن ذرات خاک که به صورت درصدی از وزن خشک کل خاک صورت می گیرد.

در این آزمایش از روش طبقه بندی متحد(یونیفاید) استفاده می کنیم دانه بندی خاکهای درشت دانه به روش الک کردن انجام می شود وحال آنکه دانه بندی خاکهای ریزدانه باروش هیدرومتری صورت می گیرد

ابزار : دستگاه لرزاننده - یکسری الک ریز دانه ودرشت دانه - اون - ترازو- برس مویی

روش انجام :

اندازه الک <i>mm</i>	شماره الک	وزن الک خالی	وزن الک با خاک	وزن ماته	درصد مانده	درصد عبوری
19	3/4 in	589	589	0	0.00	100.00
9.51	3/8 in	485	582.5	97.5	6.57	93.42
2.36	8	434.6	1191	756.4	51.04	42.37
0.50	20	405.2	497	91.8	6.1	36.18
0.425	40	362.5	509	146.5	9.8	26.3
0.180	80	312.9	649.2	336.3	22.6	3.6
0.075	200	290.4	336	45.6	3.07	0.52
	pan	384.9	392.7	7.8	0.52	
				1481.9		

ابتدا تک تک الکها را وزن می کنیم سپس الکها را از بزرگ به کوچک به ترتیب روی هم می گذاریم سپس خاک مورد نظر را که $1500gr$ بود قبلا در داخل اون خشک شده بود را داخل اولین الک می ریزیم سپس الکها را روی دستگاه لرزاننده می گذاریم به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه. سپس وزن تک تک الکها را با خاک داخل آن اندازه می گیریم تفاوت وزن هر الک ، نشاندهنده وزن مانده روی هر الک است کلیه نتایج در جدول زیر آمده است .

طبقه بندی:

۱- ابتدا می بایست مشخص کنیم که خاک ما درشت دانه است یا که ریزدانه ، بنابراین مراجعه می کنیم به درصد عبوری از #۲۰۰

$$\begin{aligned} \text{درشت دانه} \quad & \text{Passing No.200} < 50\% \\ \text{ریزدانه} \quad & \text{Passing No.200} > 50\% \end{aligned}$$

۲- اگر خاک درشت دانه بود باید مشخص شود که شن ($G=Gravel$) است یا ماسه ($S=Sand$)

$$\begin{cases} G \dots \dots \text{No.4} - \frac{\text{No.200}}{2} < 50 \\ S \dots \dots \text{NO.4} - \frac{\text{No.200}}{2} > 50 \end{cases}$$

برای شن $\left\{ \begin{aligned} \text{No.200} < 5 & \Rightarrow \begin{cases} cu \geq 4 \\ 1 \leq c_c \leq 3 \end{cases} \Rightarrow GW \end{aligned} \right.$ واگر یکی از دوزرایب برقرار نباشد GP می باشد

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{ضریب خمیدگی} \qquad Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{ضریب یکنواختی}$$

از منحنی دانه بندی داریم:

$$D_{10} = 0.26$$

$$D_{30} = 0.45$$

$$D_{60} = 4.2$$

$$C_u = 16.15$$

$$C_c = 0.185$$

پس خاک GP است.

منابع خطا:

- ۱- فرایند دانه بندی اطلاعات مربوط به شکل دانه های خاک مثل زاویه دار بودن و گرد بودن آن را نمی دهد
و بیشتر برای پیش بینی خصوصیات فیزیکی به کار می رود
- ۲- در فرایند الک ممکن است ذرات خیلی ریزتر از الک ۲۰۰ به ذرات بزرگتر بچسبند و به عنوان گرد و غبار از الک
مزبور نگذرند
- ۳- خوب تمیز نکردن الکها
- ۴- خطای وزن کردن الکها

جلسه سوم

تعیین حد روانی وحد خمیری خاک

مقدمه: با افزایش رطوبت، در مرحله ای خاک از حالت نیمه جامد به حالت خمیری تبدیل می شود رطوبت در این مرحله، حد خمیری نامیده می شود با افزایش بیش از پیش رطوبت، مرحله ای می رسد که خاک به حالت مایع روان می گردد رطوبت این مرحله را حد روانی یا حد مایع می گویند. چسبندگی بیشتر سبب می شود تا اولاً حد روانی افزایش یابد، چرا که خاک چسبنده دیرتر روان شده و برای روان شدن به رطوبت بیشتری نیاز دارد، ثانیاً سبب می شود حد خمیری کاهش پیدا کند زیرا خاک چسبنده استعداد خمیری شدن بیشتری را دارد و زودتر وبا رطوبت کمتری به حالت خمیری در می آید. از مطالب فوق الذکر می توان نتیجه گرفت که هر چه فاصله بین حد خمیری وحد روانی بیشتر باشد خاک چسبنده تر و خمیری تر خواهد بود لذا این فاصله را نشانه خمیری گویند و با PI نمایش می دهند

به عنوان یک تعریف کلی از حد خمیری می توان گفت:

حد خمیری، میزان رطوبتی است که به ازای آن فتیله ای به قطر $3mm$ که از خمیر خاک نمونه (باروش غلتاندن) ساخته می شود، ترک بخورد حد خمیری پایین ترین میزان رطوبت مربوط به حالت خمیری خاک است. این آزمایش با غلتاندن تکه ای از خمیر خاک بر روی یک صفحه شیشه ای بوسیله دست انجام می شود.

ابزار: ۱- دستگاه کاساگرانده ۲- ترازو ۳- اون ۴- ظرف فلزی جهت اندازه گیری درصد رطوبت
۵- آبپاش ۶- کاردک ۷- الک $No.40$ ۸- کاسه ۹- پارچه

روش انجام:

تعیین حد روانی: برای انجام این آزمایش لازم است که خاک شسته داشته باشیم برای این منظور مقداری خاک از الک شماره 40 در حالی که با آب شسته می شود عبور می دهیم (آب را تازمانی از آن عبور می دهیم که وقتی از خاک عبور می کند روشن دیده شود) در این آزمایش ما به $200gr$ خاک نیاز داریم و باید به صورت خشک باشد به همین منظور خاک که مرطوب است در اون به مدت ۲۴ ساعت می گذاریم. این $200gr$ خاک را بر روی شیشه یا میز آزمایشگاه می ریزیم و مقداری به آن آب اضافه می کنیم و با کاردک خاک را با آب خیس می کنیم بعد دستگاه را تنظیم می کنیم به این صورت که بادامک را بالا برده و شیار زن را مماس با کف کاسه قرار داده و با پیچها دستگاه را تنظیم می کنیم حال خاک را با کاردک تیغه ای وارد کاسه می کنیم به طوری که خاک در وسط کاسه ضخامت $15mm$ تا $20mm$ داشته باشد البته خاک باید کاملاً به کاسه چسبیده باشد حال با کاردک شیار زن به طور عمود از بالا به سمت پایین می کشیم به نوعی خاک را نصف می کنیم حال بوسیله چرخاندن دسته ضربات را وارد می کنیم تعداد ضرباتی که خاک به دونیم تقسیم شده را به اندازه $13mm$ به هم می رساند یادداشت می کنیم اگر تعداد ضربات بیشتر 40 باشد آن را در نظر نمی گیریم بعد از اینکه تعداد ضربات مربوط به هر مرحله را بدست آوردیم می بایست درصد رطوبت هر کدام را بدست آوریم به این منظور مقداری خاک از هر مرحله را در قوطی که قبلاً وزن خالی آن را اندازه گرفته بودیم وارد می کنیم سپس وزن آنرا اندازه می گیریم و در اون می گذاریم بعد از ۲۴ ساعت وزن خشک آنرا اندازه می گیریم و به همان روشهایی که درصد رطوبت را تعیین می کردیم رطوبت آنها را حساب می کنیم و نقاط به ازای تعداد ضربات و درصد رطوبت را مشخص می کنیم کلیه نتایجی که ما در این آزمایش بدست آوردیم در جدول به صورت زیر است.

آزمایش حد روانی					نوع آزمایش
5	4	3	2	1	شماره ظرف
16	20	30	33	20	تعداد ضربات
16	15.1	15.4	14.9	15.2	وزن ظرف
42.2	31.5	31	82.2	86.4	وزن نمونه تر + وزن ظرف
36	27.6	27.3	66.9	69.9	وزن نمونه خشک + وزن ظرف
6.2	3.9	3.7	15.3	16.8	وزن آب نمونه
20	12.5	11.9	52	54.4	وزن خاک خشک
31%	31.2%	31.09%	29.2%	30.88%	درصد رطوبت

بر اساس نتایج حاصله از نمودار:

$$LL=30.6$$

تعیین حد خمیری:

حدود ۲۰ گرم خاک یکی از مراحل بالا را برمی داریم و آن را به صورت گلوله در می آوریم و با دست به صورت فتیله در می آوریم تا قطر آن 3mm شود و ترک بخورد آنگاه می بایست در صد رطوبت آن را بدست آوریم برای این کار آن را وارد قوطی می کنیم وزن آن را اندازه می گیریم سپس به مدت ۲۴ ساعت در اون می گذاریم و درصد رطوبت آن را اندازه می گیریم نتیجه بدست آمده در زیر آمده است. از دو نمونه میانگین گرفته می شود و نتیجه درصد رطوبت، حد خمیری است.

نوع آزمایش	آزمایش حد خمیری	آزمایش حد خمیری
شماره ظرف	1	2
وزن ظرف	13.6	14
وزن نمونه تر + وزن ظرف	21.5	21
وزن نمونه خشک + وزن ظرف	20	19.8
وزن آب نمونه	1.5	1.2
وزن خاک خشک	4	5.8
درصد رطوبت (PL)	23.44	20.7

$$PL = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{23.44 + 20.7}{2} = 22.07$$

$$PI = LL - PL = 30.6 - 22.07 \longrightarrow PI = 8.53$$

محاسبه شیب جریان و تعیین صحت رابطه تک نقطه ای:

$$LL = \omega_N \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121} = 29.5 \left[\frac{33}{25} \right]^{0.121} \cong 30.51$$

$$F = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\text{Log}N_2 - \text{Log}N_1} = \frac{30.25 - 30.6}{\text{Log}30 - \text{Log}25} = -4.42$$

F شیب جریان از نمودار جریان
 LL حد روانی از فرمول تک نقطه

خطاهای موجود در آزمایش :

- ۱- نمونه به خوبی ورز داده نشده باشد
- ۲- دستگاه به خوبی میزان نشده باشد
- ۳- خطا در تشخیص اینکه آیا شیار به اندازه $13mm$ بسته شده است

سوال:

۱- اگر در طول آزمایش تعداد ضربات ۲۵ ضربه شد چه کار کنیم؟
همان آزمایش را تکرار می کنیم، اگر دوباره ۲۵ ضربه شد ، آزمایش را تمام کرده و درصد رطوبت نمونه مورد نظر ، حد روانی خاک مورد آزمایش خواهد بود ، اما اگر دوباره ۲۵ ضربه نشد (بیشتر یا کمتر شد) ۲۵ ضربه قبل را نادیده گرفته و عدد حاصل از تکرار آزمایش برای این درصد رطوبت که طی ۲۴ ساعت آینده به همان روش معمول تعیین درصد رطوبت مشخص می شود ، را ثبت می کنیم . علت حذف ۲۵ ضربه در صورت ارضا نشدن شرط بالا این است که در نمودار درصد رطوبت بر حسب لگاریتم ضربات ، با توجه به نمودار خطی بهینه که با خط سیاه پررنگ در نمودار مربوط رسم شده ، دو مقدار درصد رطوبت (حد روانی) برای ۲۵ ضربه استاندارد پیدا می شود که ، از نظر آزمایشگر این حالت غیرعلمی و خطا است.

۲- اگر شیار دستگاه کاساگرانده به ازای هر درصد رطوبتی زیر ۲۵ ضربه بسته شود، چه نتیجه ای می گیریم؟

نتیجه می گیریم که احتمالاً خاک میزانی رطوبت از قبل داشته که البته این مورد جزو خطای آزمایش در نظر گرفته می شود .

اما نتیجه علمی این است که این نمونه خاک یک خاک با چسبندگی بسیار پایین است چرا که همانطور که در بالا اشاره شد هرچه خاک چسبنده تر باشد فاصله بین حد روانی و حد خمیری (نشانه خمیری PI) بزرگتر است و خاک قابلیت خمیری و جذب آب بیشتری تا قبل از حد روانی دارد. یعنی خاک مورد آزمایش ما یک خاک با حد روانی پایین و غیر خمیری است (فاقد درصد قابل توجه رس است) مانند ماسه بادی .

جلسه چهارم تعیین حد انقباض

مقدمه: بنا به تعریف حد انقباض درصد رطوبتی است که به ازای کمتر از آن خاک تغییر حجم ندهد بوسیله این آزمایش اطلاعاتی بدست می آید که می توان حد انقباض ، نسبت انقباض ، انقباض حجمی و انقباض یک جهتی را بدست آورد . هنگامی که یک خاک رس اشباع به تدریج خشک می شود و رطوبت خود را ازدست می دهد حجم توده خاک کاهش می یابد در حین عمل خشک شدن شرایطی فراهم می شود که باخشک شدن بیشتر خاک ، رطوبت نیز کم می شود ولی حجم خاک تغییر نخواهد کرد درصد رطوبت خاک که در آن درصد رطوبت ، کاهش حجم متوقف می شود به عنوان حد انقباض تعریف می شود نسبت حد روانی به حد انقباض (LL/SL) یک خاک اطلاعات خوبی در مورد خاصیت انقباض آن خاک بدست می دهد . هرچه این نسبت بزرگتر باشد نشان دهنده این است که دامنه تورم پذیری خاک بیشتر است یعنی اگر نسبت LL/SL بزرگ باشد خاک در محل ممکن است در اثر تغییر رطوبت ، تغییر حجم نامطلوبی پیدا کند این احتمال وجود دارد که در پی هایی که تازگی بر روی این خاکها ساخته می شوند به دلیل انقباض یا انبساط (تورم) خاک در اثر تغییرات رطوبت فصلی ، ترکهایی دیده شود

ابزار :

- ۱- جیوه
- ۲- ترازو
- ۳- ظرف اندازه گیری حد انقباض (ظرف شیشه ای)
- ۴- کاردک
- ۵- اون
- ۶- آب پاش
- ۷- صفحه شیشه ای با سه چنگال فلزی برای غوطه ور نگهداشتن نمونه خاک خشک در جیوه

روش انجام :

مقدار ۵۰ گرم از خاکی که از الک نمره ۴۰ عبور کرده است بر می داریم نمونه را در داخل ظرف ریخته وبا مقدار کافی آب که فقط خلل و فرج آنرا پر نماید خوب مخلوط می کنیم (مقدار آب لازم از نمودار حد روانی آزمایش قبل بدست آمده که ۳۰.۶٪ معادل ۲۵ ضربه دستگاه کاساگرانده و حد روانی خاک مورد آزمایش است ، پس مقدار آب لازم برای ۵۰ گرم خاک ۱۵.۳ گرم است) یک ظرف فلزی که قبلا آنرا چرب کرده بودیم برمی داریم ووزن آنرا حساب می کنیم ($M1$) سپس مخلوط خاک و آب را در سه لایه داخل آن می ریزیم وهربار پس از ریختن خاک حدود ۱۵ ضربه به آن می زنیم تا حبابهای هوا خارج شود سپس آن را وزن می کنیم ($M2$) سپس آنرا به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد می گذاریم تا به تدریج خشک شود و در نمونه ترک ایجاد نشود ، بعد آنرا به مدت ۲۴ ساعت دراون می گذاریم تا خشک شود سپس آنرا وزن می کنیم ($M3$) برای بدست آوردن حجم خاک تر (Vn) ، ظرف چرب را پر از جیوه می کنیم و آنرا وزن می کنیم با بدست آوردن وزن جیوه ، حجم خاک تر بدست می آید برای بدست آوردن حجم خاک خشک ($V0$) ، ابتدا یک ظرف شیشه ای را لبریز از جیوه می کنیم و سپس خاک خشک را وارد آن می کنیم به اندازه حجم خاک خشک جیوه خارج می شود و برای اندازه گیری جیوه خارج شده آنرا داخل یک ظرف شیشه ای بزرگتر که قبلا آنرا وزن کرده بودیم می گذاریم حال از طریق نتایج بدست آمده و روابط ، SL را حساب می کنیم .

محاسبه حجم ظرف:

$$124.5 = \text{وزن ظرف خالی} + \text{وزن ظرف شیشه ای بزرگ}$$

$$341.2 = \text{وزن ظرف پر از جیوه} + \text{وزن ظرف شیشه ای بزرگ}$$

$$\text{وزن جیوه از تفاضل بالا بدست می آید } (\gamma = 13.53 \text{ gr/cm}^3 \text{ جیوه})$$

$$216.7 = \text{وزن جیوه}$$

بنابراین داریم : $V_n = \frac{216.7}{13.53} = 16.016 \text{Cm}^3$ حجم ظرف (حجم خاک تر)

محاسبه حجم خاک خشک:

$104.5 =$ وزن ظرف شیشه ای بزرگ

$260.5 =$ وزن ظرف شیشه ای بزرگ + جیوه ریخته شده پس از وارد کردن نمونه خشک خاک

وزن جیوه از تفاضل بالا بدست می آید

$156 =$ وزن جیوه

وزن جیوه ریخته شده تقسیم بر چگالی جیوه حجم خاک خشک رابدست می دهد

حجم خاک خشک $V_o = \frac{156}{13.53} = 11.53 \text{Cm}^3$

$M_1 = 20 \text{ gr}$

$M_2 = 49.5 \text{ gr}$

$M_3 = 41.2 \text{ gr}$

$M_0 = M_3 - M_1 = 21.2 \text{ gr}$

وزن خاک خشک

$M_n = M_2 - M_1 = 29.5 \text{ gr}$

وزن خاک مرطوب

$\omega_n = \frac{M_n - M_o}{M_o} \times 100 = \frac{8.3}{21.2} = 0.391 = 39.1\%$

$\Delta\omega = \frac{(V_n - V_o)\gamma_w}{M_o} \times 100 = \frac{4.486}{21.2} = 0.212 = 21.2\%$

$\Delta\omega =$ تغییرات درصد رطوبت خاک منقبض شده

$SL = \omega_n - \Delta\omega = 39.1 - 21.2 = 17.9\%$

$\frac{LL}{SL} = \frac{30.6}{17.9} = 1.71$

$SR = \frac{M_o}{V_o \times \gamma_w} = \frac{21.2}{11.53 \times 1} = 1.84$

عوامل خطا :

۱- خطادر توزین ظروف ومقادیر جیوه

۲- خطای قرائت اعداد

۳- خطای ابزاری

۴- خطای ناشی از دخالت حجم سه چنگال فلزی صفحه شیشه ای در محاسبه حجم خاک خشک

۵- در ساخت نمونه مورد آزمایش پس از خارج کردن نمونه از ظرف یک حفره کوچک در ته نمونه دیده شد که به

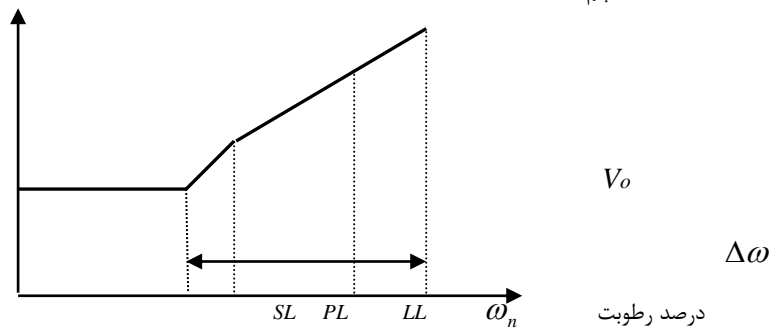
علت خوب ضربه نزدن در حین ریختن سه لایه خاک روان شده در ظرف بود که این خود باعث ایجاد خطا در

محاسبه SL است .

سوال:

توجیه رابطه $SL = \omega_n - \Delta\omega$ چیست؟

حجم



در توجیه رابطه فوق باید به توجیه عناصر آن یعنی $\Delta\omega$ و ω_n و SL توجه کرد. در تعریف SL گفتیم که مقدار رطوبتی که خاک پس از آن (با توجه به نمودار فوق اگر فرض شود که به طریقی رطوبت خاک آرام آرام گرفته شود) تغییر حجم نمی دهد ، حد انقباض است. اما $\Delta\omega$ مقدار رطوبتی است که خاک مرطوب ما از دست می دهد تا به آن حجم ثابت برسد که از فرمول محاسبه آن کاملاً قابل تشخیص است، چرا که در آن تنها مقدار آبی در صورت کسر وارد می شود که پس از آن خاک به حجم ثابت خود V_o رسیده است. ω_n همانطور که می دانیم و از فرمول آن درک می شود ، تمام مقدار آبی است که خاک خشک اولیه ما جذب کرده بود و به مقدار حجم خاک بستگی ندارد. حال تفاضل این دو مقدار با توجه به نمودار فوق مقدار حد انقباض را نتیجه می دهد .

جلسه پنجم

تعیین درصد رطوبت بهینه خاک

مقدمه : در بسیاری از سازه های خاکی مثل سدها ، دیوارهای حائل ، بزرگراهها ، فرودگاهها ، اسکله های بار اندازی و ... متراکم کردن خاک یک امر ضروری جهت بهبود مقاومت خاک می باشد تراکم بیشتر خاک باعث کاهش نشست های خاک در آینده ، افزایش مقاومت برشی ، کاهش نفوذ پذیری ، بهبود خواص مکانیکی خاک ، کاهش قابلیت تورم خاک می گردد .

درصد آب بهینه مقدار آبی است که به ازای آن ، خاک در اثر وارد آمدن انرژی ، تراکم بیشتری پیدا خواهد نمود که درصد بهینه آب بیشترین وزن مخصوص خاک را خواهد داد .

آزمایش بنا به طریقه کوبندگی به دو طریق پراکتور معمولی و پراکتور تعدیل شده تقسیم می شود لازم به ذکر است پراکتور معمولی برای اجرای خاکریزها و پراکتور تعدیل شده برای لایه های زیر سازی جاده ها و با کوبیدن خاکریز پشت پی ها مورد استفاده قرار می گیرد .

تراکم عملی است که طی آن هوای خاک بیرون رانده می شود و باعث می شود دانه ها بهم نزدیک شوند و درگیری بین آنها افزایش یابد

دلیل این که وزن مخصوص خشک ابتدا با اضافه شدن در صد آب افزایش می یابد این است که وقتی خاک خشک است ذرات با هم اصطکاک دارند و تراکم مشکل است با اضافه کردن آب ذرات براحتی بر روی هم می لغزند اما با اضافه شدن بیشتر آب ، خاک تقریباً اشباع می شود آنگاه آب بر خاک غالب شده و وزن مخصوص خشک پایین می آید.

انرژی تراکم : هرچه انرژی تراکم بیشتر شود بالطبع تراکم بیشتر می شود و وزن مخصوص بالاتر می رود ولی در صد رطوبت بهینه کمتری می شود چرا که وجود منافذ هوا برای حضور آب و پوشش سطح خاک را حد اقل می کند. همچنین هرچه خاک درشت تر باشد درصد رطوبت بهینه کمتر و تراکم بهتری صورت می گیرد چون ریز دانه ها سطح جانبی بیشتری دارند پس آب بیشتری نیاز است و این آب مانع از تراکم بهتر می شود با افزایش انرژی تراکم وزن مخصوص افزوده می شود ولی این افزایش تا حد مشخص ادامه دارد و بعد از آن γ_d ثابت می ماند .

ابزار:

- ۱- قالب تراکم ۲- چکش ۳- استامبلی ۴- روغن ۵- قوطی ۶- الک نمره ۴
- ۷- ترازو

روش انجام :

از خاک تهیه شده به وسیله تکنسین آزمایشگاه (زیر الک نمره ۴) به اندازه $3kg$ برمی داریم و حدود ۳ درصد آب به آن اضافه می کنیم و خوب هم می زنیم تا مقدار آب به همه جای خاک برسد .

قالب و کفی را که از قبل وزن کرده بودیم ($W1$) را برمی داریم سپس گردنی بالایی را به آن وصل می کنیم و خوب چرب می کنیم سپس اولین لایه از خاک را وارد قالب می کنیم (۵ تا ۸ سنتی متر) بعد با چکش ۲۵ ضربه به آن می زنیم تا متراکم شود طریقه ضربه زدن این طور است که هر جا چکش فرود آمد ضربه بعدی در جای دیگر زده شود بعد از ۲۵ ضربه لایه بعدی را می ریزیم دوباره همین کار را انجام می دهیم کلا تا ۳ لایه خاک می ریزیم سپس گردنی را جدا می کنیم سپس با تیغه از وسط سطح را صاف می کنیم (فقط می بایست مواظب باشیم که وقتی که گردنی را باز می کنیم حدود $1cm$ خاک بالاتر از قالب باشد) سپس دور قالب را تمیز کرده و بعد قالب با خاک را وزن می کنیم ($W2$) تفاضل این دو مقدار وزن خاک می باشد (W) سپس مقداری از این خاک را برمی داریم و درصد رطوبت آنرا طبق روش اولین آزمایش (درصد رطوبت) اندازه می گیریم . این کار را در چند مرحله انجام می دهیم و مشاهده می شود که وزن خاک داخل قالب تا چند مرحله زیاد شده و سپس دوباره کم می شود این بیانگر

آنست که به ازای یک مقدار رطوبتی، مقدار γ_d ماکزیمم می گردد که این مقدار رطوبت مقدار بهینه است که تخلخل در آن به حداقل مقدار خود می رسد. ذکر این نکته مهم است که در هر مرحله ما به میزان 3% آب اضافه می کنیم (معادل ۹۰ گرم یا 90cc). اولین مرحله برای مقایسه بدون اضافه کردن آب انجام گرفت. نتایج به قرار زیر است:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \omega} \quad \text{یا} \quad \gamma_d = \frac{W}{V(1 + \omega)}$$

W وزن خاک و V حجم ظرف (حجم نمونه خاک) و ω درصد رطوبت نمونه است.
حجم ظرف و ابعاد آن:

قطر داخلی = 10.1cm

ارتفاع = 11.61

$V = 930.1 \sim 930 \text{ cm}^3$

شماره ظرف	وزن قوطی درصد رطوبت	وزن خاک + ظرف	وزن خاک خشک + ظرف	$\omega\%$	W_1 (gr)	W_2 (gr)	W (gr)	V (cm^3)	$\gamma_{wet} = \frac{W}{V}$ (gr/cm^3)	$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \omega}$ (gr/cm^3)
نمونه خشک	-	-	-	-	422 5	599 8	177 3	930	1.261	1.261
1	21.3	44.3	43.5	3.6	422 5	609 9	187 4	930	2.015	1.95
2	16	51.5	49	7.57	422 5	628 8	206 3	930	2.218	2.06
3	15.8	35.5	33.6	10.67	422 5	636 2	213 7	930	2.298	2.07
4	22.2	46	43.4	12.26	422 5	634 0	211 5	930	2.274	2.02

از روی نمودار بدست می آید: $\gamma_{d_{max}} = 2.075 \text{ gr}/\text{cm}^3$ و $\omega_{opt} = 9.4\%$

منابع خطا:

۱- ضخامت لایه های خاک ریخته شده در داخل قالب باید تقریباً هم اندازه باشند تا توزیع انرژی تراکم در تمام لایه ها به صورت یکنواخت صورت گیرد.

۲- ارتفاعی که چکش را رها می کنیم باید ثابت باشد چون اگر متغیر باشد مقدار انرژی که از این طریق منتقل می شود متفاوت خواهد بود

۳- خطای دیگر امکان دارد که ضربه چکش به تمام جاهای خاک وارد نشود یعنی بعضی از مناطق کمتر تحت اثر ضربه قرار گرفته باشد

۴- خطای محاسبات

۵- خطای دستگاهی و خطای آزمایشگر در قرائت وزن ها

۶- مخلوط شدن روغن جدار قالب با خاک در مراحل آزمایش

سوال:

در عمل برای ایجاد تراکم در خاک از حدود ۹۰ تا ۹۵٪ رطوبت بهینه حاصل از آزمایشگاه استفاده می شود، چرا؟

به علت اینکه در عمل خاک مقداری رطوبت در خود دارد که اگر در نظر گرفته نشود در اثر اضافه کردن مقدار آب بهینه به خاک باعث می شود میزان رطوبت از میزان بهینه بیشتر شود و همانطور که در نمودار تراکم قابل بررسی است منجر به کاهش تراکم خاک می شود که در جهت خلاف هدف اضافه کردن آب است.

حتی اگر هم در خاک رطوبتی قابل توجه نباشد با در نظر گرفتن ۹۰ تا ۹۵ درصد رطوبت بهینه ، ما با اطمینان در جهت افزایش تراکم حرکت کرده ایم (با توجه به نمودار تراکم).

مورد دیگر هم اینکه آزمایش در آزمایشگاه تحت شرایط محدود شده انجام می گیرد که در عمل امکان اعمال این محدودیت ها نیست.

جلسه ششم

محاسبه وزن مخصوص خاک در محل

مقدمه: وزن مخصوص خشک خاک عبارت از نسبت وزن مخصوص مرطوب خاک در محل به در صد رطوبت همان خاک به اضافه ۱ است با تعیین وزن مخصوص خشک خاک می توان با انجام آزمایش تراکم (برای به دست آوردن نسبت کوبیدگی) در آزمایشگاه میزان قابلیت کوبیدگی خاک را در محل بدست آورد. نسبت کوبیدگی از تقسیم وزن مخصوص خشک خاک در سایت به وزن مخصوص خشک ماکزیمم خاک در آزمایشگاه به دست می آید.

در راهسازی، فرودگاهها، سدهای خاکی، کانالها، جاده های درجه ۱ و ۲ و حتی در ساخت پی ابنیه های ساختمانی، بدلیل اینکه نیاز به بستری محکم می باشد انجام آزمایش میزان کوبیدگی الزامی می باشد طبق آیین نامه می بایست حداقل تراکم بسته به نوع پروژه ارضا گردد و اگر خاکی این قدرت را نداشته باشد، خاک ضعیف تلقی شده واز محل خارج شده و بجای آن خاکی با قابلیت تراکم پذیری مقبول جایگزین می شود.

نکته ای که می بایست به آن توجه کرد این است که در آزمایشگاه برای انجام آزمایش تراکم می بایست همان انرژی که در محل به خاک وارد می گردد، در آزمایشگاه برای خاک مورد نظراعمال گردد. در این جا از روش مخروط ماسه ای استفاده شده است. منطق آزمایش بر مبنای استفاده از ماسه استاندارد و وزن مخصوص آن است. منظور از ماسه استاندارد این است که دانه بندی آن یکنواخت باشد یعنی اندازه تمام ذرات آن یکسان بوده و میزبان ریز دانه در آن زیاد نباشد این ماسه باید از الک نمره ۴۰ عبور کرده و روی نمره ۵۰ باقی بماند.

ابزار:

- ۱- دستگاه *sand bottle* ۲- ماسه استاندارد (یکنواخت) ۳- ترازو ۴- شلف ۵- چکش و قلم
- ۶- کیسه پلاستیکی
- ۷- *oven*

روش انجام:

تعیین وزن مخصوص ماسه:

ابتدا در آزمایشگاه یک ظرف استوانه ای با حجم و وزن مشخص را برمی داریم و آنرا پر از ماسه می کنیم سپس وزن آنرا اندازه می گیریم سپس وزن مخصوص خشک ماسه را بدست می آوریم. استوانه به قطر 15.12cm و ارتفاع 15.14cm می باشد.

$$V = 2718.437 \text{ cm}^3 \quad \text{وزن ظرف} = 1.054\text{kg} \quad \text{وزن ظرف + ماسه} = 5.405\text{kg}$$

$$\gamma_d = \frac{W_{sand}}{V_{sand}} = \frac{5.405 - 1.054}{2718.437} = 16.005 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3$$

تعیین وزن ماسه درون مخروط (حجم مخروط):

حال از بطری ماسه ای که انتهای آن به صورت قیف می باشد استفاده می کنیم به این صورت که در آن مقداری ماسه ریخته آنرا وزن می کنیم سپس آنرا در روی صفحه ای فلزی قرار می دهیم سپس پیچ را باز می کنیم تا کاملا قسمت مخروطی آن پر از خاک شود سپس پیچ را می بندیم آنرا وزن می کنیم بدین ترتیب وزن خاک هم حجم مخروط بدست می آید

$$W'_1 = 5.67 \text{ kg} = \text{وزن خاک و بطری ماسه ای}$$

$$W'_2 = 5.2 \text{ kg} = \text{وزن خاک و بطری ماسه ای بعد از باز شدن پیچ}$$

$W_c =$ وزن خاک هم حجم مخروط بطری ماسه ای

$$W_c = W'_1 - W'_2 = 5.67 - 5.2 = 0.47 \text{ kg}$$

آزمایش در محل :

صفحه دستگاه را در محل قرار داده و داخل آن را بوسیله قلم و چکش حفر می کنیم عمق این چاله می بایست ۲ برابر قطر سوراخ صفحه دستگاه باشد. خاک کنده شده را در داخل کیسه می ریزیم سنگ های درشتی را که از گودال خارج کرده ایم دوباره به گودال برمی گردانیم و خاک بیرون آورده را وزن می کنیم (W_2). سپس دستگاه را که مجدداً از ماسه پر کرده و وزن می کنیم (W_1), و روی صفحه و روی چاله قرار می دهیم دریاچه دستگاه را باز می کنیم تا ماسه داخل حفره را پر کند پس از اینکه سطح ماسه درون دستگاه ثابت ماند، دریاچه دستگاه را بسته و مجدداً دستگاه را وزن می کنیم (W_3). در محاسبه وزن ماسه ای که در چاله ریخته شده، باید به این نکته توجه داشت، وزن دستگاه و ماسه داخل ظرف می باشد و حال آنکه ماسه ریخته شده قیف را نیز پر کرده است.

$$W_1 = 6.21 \text{ kg} = \text{وزن ظرف} + \text{ماسه}$$

$$W_3 = 3.345 \text{ kg} = \text{وزن ظرف} + \text{ماسه (بعد از باز شدن پیچ)}$$

$$6.21 - 3.345 = 2.865 \text{ kg} = \text{وزن ماسه خارج شده}$$

$$W_p = 2.865 - 0.47 = 2.395 \text{ kg} = \text{وزن ماسه هم حجم چاله}$$

$$V = \frac{W_p}{\gamma_{sand}} = \frac{2.395}{16.005 \times 10^{-4}} = 1496.407 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = 3660 \text{ gr} = \text{وزن خاک بیرون آورده شده}$$

حال می توان وزن مخصوص مرطوب خاک را بدست آورد :

$$\gamma_{wet} = \frac{W_2}{V} = \frac{3660}{1496.407} = 2.44 \text{ gr/cm}^3$$

مقداری از همین خاک بیرون آورده شده را برمی داریم و در صد رطوبت آنرا اندازه می گیریم

$$12.5 \text{ gr} = \text{وزن ظرف خالی}$$

$$69 \text{ gr} = \text{وزن خاک مرطوب} + \text{ظرف}$$

$$65.5 \text{ gr} = \text{وزن خاک خشک} + \text{ظرف}$$

با استفاده از فرمول درصد رطوبت داریم:

$$\omega = \frac{69 - 65.5}{65.5 - 12.5} \times 100 = 6.6\%$$

حال که در صد رطوبت را بدست آوردیم می توان وزن مخصوص خشک را بدست آورد :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \omega} = \frac{2.44}{1 + 0.066} = 2.29 \text{ gr/cm}^3$$

موارد خطا:

- ۱- یکی از اشکالات این روش عدم امکان استفاده از آن برای سنگهای بزرگتر از ۲ اینچ می باشد.
- ۲- دور ریخته شدن برخی از خاک حفر شده باعث بروز خطا می گردد.
- ۳- عدم یکنواختی رطوبت در خاک و تغییر درصد رطوبت خاک هنگام کند ن زمین
- ۴- باید اندازه دانه های ماسه یکنواخت بوده و ماسه دارای دانه بندی یکسان باشد زیرا در صورت یکسان نبودن دانه بندی ، وزن مخصوص ماسه در نقاط مختلف دارای مقدار یکسان نمی باشد.
- ۵- حداقل عمق چاله ایجاد شده می بایست حداقل ۱.۵ برابر قطر صفحه باشد در غیر این صورت نتیجه خوبی نخواهیم داشت.
- ۶- خطای دستگاه اندازه گیری و خطاهای انسانی

جلسه هفتم

تعیین مقاومت فشاری تک محوری خاکهای چسبنده

مقدمه : مقاومت فشاری تک محوری عبارتست از حداکثر نیروی وارد بر واحد سطح به هنگام شکست نمونه و یا نیروی وارد بر واحد سطح وقتیکه 20% کرنش محوری انجام می گیرد هدف از انجام این آزمایش اندازه گیری مقاومت فشاری تک محوری خاکهای چسبنده دست نخورده یا دست خورده است که این نوع آزمایش را می توان به دوروش انجام داد :

۱- روش تنش کنترل شده ۲- روش کرنش کنترل شده

که در این آزمایش از روش کرنش کنترل شده استفاده می شود و از انجام روش تنش کنترل شده به علت مشکل بودن صرف نظر می شود.

برای به دست آوردن مقاومت برشی یک نمونه خاک ، از پوش گسیختگی موهر - کولمب استفاده می شود. پوش گسیختگی در صفحه $\sigma - \tau$ به پارامترهای ϕ و c وابسته است که مؤلفه های مقاومت برشی خاک هستند. c که معرف چسبندگی خاک است برای خاک های دانه ای تمیز و عاری از ریز دانه صفر می باشد که در این خاک ها مهمترین عامل مقاومت برشی خاک c است . ϕ خاک در حالت زهکشی نشده صفر است. هر چه مقدار ϕ و c خاک بیشتر باشد ، خاک مقاوم تر است.

این آزمایش برای خاک های ریز دانه به خصوص رس می باشد. در آزمایش تک محوری امکان زهکشی به نمونه داده نمی شود، بنا بر این نمونه دارای ϕ نمی باشد.

برای تهیه نمونه های استوانه ای می توان از نمونه ای دست نخورده بزرگ استفاده کرد خاکهایی که توسط لوله های جدار نازک نمونه برداری شده است نیاز به تراشیدن ندارد و باید دقت شود که موقع برداشتن و گذاشتن هیچ گونه تغییری در رطوبت یا مقطع عرضی آنها داده نشود .

ابزار:

۱- دستگاه تک محوری ۲- قالب نمونه گیری ۳- کاردک ۴- ترازو ۵- مزور ۶- روغن کولیس

روش انجام :

ابتدا قالب را برمی داریم و قطر و ارتفاع آنرا اندازه می گیریم $h = 9.53 \text{ cm}$ و $D = 4.76 \text{ cm}$ بنابراین حجم بدست می آید $V = 169.59 \text{ cm}^3$ و به مقدار $W = 300 \text{ gr}$ خاک خشک برداشته و به میزان 20% خاک خشک ، به آن آب اضافه می کنیم که 60 gr می شود. خوب خاک را مرطوب می کنیم سپس مقداری خاک را در داخل قالب که قبلا دیواره آنرا روغن زده بودیم ، می ریزیم و در هر بار خوب آنرا می کوبیم این کار را تا تمام شدن خاک ادامه می دهیم سپس نمونه را از داخل قالب بیرون آورده و ارتفاع آنرا اندازه می گیریم $h_o = 9.64 \text{ cm}$ و قطر نمونه $D_o = 4.93 \text{ cm}$ (که نشان می دهد قالب را هنگام متراکم کردن محکم نگه نداشته ایم) آنگاه نمونه را در مرکز صفحه در پایین دستگاه بارگذاری قرار می دهیم دستگاه را طوری تنظیم می کنیم که بدون وارد کردن نیرو با نمونه ها تماس پیدا کند سپس عقربه گیج را روی صفر قرار می دهیم سرعت بار گذاری را طبق استاندارد 0.5 تا 2 میلی متر بر دقیقه می گذاریم و به ازای هر 15 ثانیه بار وارده و تغییر شکل را اندازه می گیریم . آزمایش قرائت در یکی از حالات زیر انجام می گیرد:

۱- بار در نمونه کاهش یابد

۲- برای دو قرائت مقدار یکسانی حاصل گردد

۳- تغییر مکان آن ۲۰٪ نمونه اولیه باشد

که در این آزمایش مورد دوم رخ داد.

دستگاه از دو گیج تشکیل یافته است که یک گیج برای تعیین نیرو و دیگری برای تعیین کرنش می باشد

برای حساب کردن تنش می بایست محاسبات زیر را انجام دهیم :

۱- تعیین کرنش Δl که از گیج مربوط به کرنش می خوانیم می بایست در 0.001 و 2.54 ضرب کنیم تا تبدیل به cm شود .

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

۲- مساحت را در هر لحظه از رابطه روبرو بدست می آوریم

$$A_0 = \frac{\pi}{4} \times 4.93^2 = 19.089 cm^2$$

$$A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$$

۳- گیج نیرو دارای ضرایبی می باشد $a=0.03771$ و $b=0.14767$ عدد X خوانده شده از روی گیج می باشد مقدار نیرو را از رابطه زیر بدست می آوریم که بر حسب پوند می باشد که در 0.453 ضرب می کنیم و تبدیل به کیلو گرم می شود .

$$P(lb) = bx + a$$

بر حسب پوند

$$P(kg) = P(lb) \times 0.453$$

بر حسب کیلو گرم

۴- تنش از رابطه روبرو بدست می آید :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

مراحل	گیج (نیرو)	گیج (جابجایی)	P (kg)	ϵ	A (cm ²)	σ (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)
1	12	6	0.819	0.0016	19.12	0.0428	0.0214
2	33	15	2.224	0.0039	19.16	0.1161	0.058
3	55	23	3.696	0.0061	19.21	0.1924	0.0963
4	75	30	5.034	0.0079	19.24	0.2616	0.1308
5	94	37	6.305	0.0097	19.28	0.3270	0.1635
6	110	44	7.375	0.0116	19.31	0.3819	0.1909
7	124	53	8.312	0.0139	19.36	0.4293	0.2146
8	133	63	8.914	0.0166	19.41	0.4592	0.2296
9	143	73	9.583	0.0192	19.46	0.4924	0.2462
10	152	81	10.185	0.0213	19.5	0.5223	0.2611
11	160	91	10.72	0.0239	19.56	0.5481	0.274
12	166	99	11.121	0.0261	19.6	0.5674	0.2837
13	166	107	11.121	0.0282	19.64	0.5662	0.2831

ازروی نمودار مقدار مقاومت فشاری حدودا $0.5674kg/cm^2$ بدست می آید که در نتیجه مقدار مقاومت برشی چون نیروی برشی و توزیع تنش برش ناشی از آن نیروی برش نداریم ، از فرمول زیر بدست می آید (با توجه به بحث تبدیل تنش ها و دایره موهر):

$$\tau_u = C = \frac{q_u}{2} = 0.2837kg/cm^2$$

در نمودار موهر - کلمب خط گسیختگی یک خط با شیب صفر است زیرا آزمایش در حالت زهکشی نشده صورت می گیرد و ϕ صفر است . در این نمودار نقاطی که زیر خط پوش گسیختگی هستند در تحمل نمونه است که تمام نقاط بدست آمده در این آزمایش زیر این خط هستند و در نمودار نشان داده شده است. هر نقطای بالای این خط منجر به خرابی نمونه خواهد شد .

توجه: زاویه شکست نمونه با افق ۸۸ درجه اندازه گیری شد .

منابع خطا:

- ۱- امکان دارد سرعت دستگاه متناسب با خاک به درستی تنظیم نشده باشد.
- ۲- در تهیه نمونه های دست نخورده دقت کافی صورت نگیرد و خاک فشرده شده باشد.
- ۳- از انجام آزمایش گیجها به درستی تنظیم نشده باشند و دقیقاً صفر نشده باشند.
- ۴- دید هم می تواند مؤثر باشد و در خواندن اعداد اشتباه شود .

جلسه هشتم

برش مستقیم

مقدمه : در این آزمایش تنشهای وارد بر سطحی که در آن گسیختگی رخ می دهد در سراسر آزمایش مستقیماً کنترل می شود دستگاه برش مستقیم مرکب از یک قوطی که در جهت افقی به دو قسمت تقسیم شده است قسمت پایین به طور ثابت به پایه دستگاه اتصال یافته وبدون حرکت است و قسمت بالایی آزاد است و می تواند در هر دو جهت افقی و قائم حرکت کند که مقدار حرکت را می توان به وسیله گیج اندازه گیری نمود .

در خاکهای ماسه ای متراکم نمودار تنش برش بر حسب تغییر شکل صعود می کند و همانطور که در نمودارهای مربوط دیده می شود پس از رسیدن به مقداری Max منحنی ره به نزول می نهد که می توان از اصطلاح نرم شدگی خاک برای این قسمت استفاده کرد. هر چه ماسه متراکم تر (در اینجا با قائم بزرگتری وارد شود) باشد شیب نمودار بیشتر می شود چون سختی آن بیشتر می شود پس خاک ماسه ای متراکم تمایل به اتساع دارد. اتساع یعنی افزایش حجم ناشی از تنش برشی . خاک متراکم وقتی تحت برش قرار می گیرد ابتدا یک مقدار متراکم می شود اما بعد دانه ها شروع به راندن یکدیگر می کنند (مثل شخصی که می خواهد از جمعیتی عبور کند پس باید به اطراف فشار بیاورد) پس تمایل به افزایش حجم پیدا می کند و اصطکاک کمتر می شود و با افت مقاومت برشی مواجه هستیم و خاصیت نرم شوندگی از خود نشان می دهد. پس خاک ماسه ای متراکم تمایل به اتساع دارد چنانکه در طول آزمایش دیده می شود حتی اعداد منفی نیز برای گیج تغییر شکل قائم بدست می آید یعنی نمونه در راستای قائم افزایش طول نشان می دهد .

در این آزمایش سطح مقطع نمونه همواره در طول آزمایش کاهش می یابد و همانطور که در درس مکانیک خاک اشاره شده صفحه گسیختگی در این روش آزمایش یک صفحه اجباری است که لزوماً ضعیف ترین صفحه نمونه نیست . این آزمایش ساده ترین و اقتصادی ترین آزمایش برای خاکهای ماسه ای خشک و اشباع است .

ابزار: دستگاه برش مستقیم، ترازو، اون، کولیس، الک No.4

روش انجام : ابتدا جعبه برش و مخزن آب آنرا در جای خود سوار می کنیم وبعد بین دو نیمه جعبه برش را بایک لایه نازک گریس پوشانده وبوسیله میخهای مخصوص روی هم ثابت می کنیم تا دیگر هیچ جابه جایی ولغزش بین آنها انجام نشود با دقت نمونه را داخل جعبه برش قرار داده وجعبه را از آب اشباع می کنیم صفحه سربار را که مجهز به سنگ متخلخل می باشد روی نمونه گذاشته وقاب مخصوص بارگذاری قائم را روی آن قرار می دهیم معمولاً حد فاصل این قاب و صفحه سربار یک گلوله فلزی قرار می گیرد . گیج مخصوص اندازه گیری نشست قائم نمونه را روی صفحه سربار نصب کرده نیروی قائم را با توجه به شرایط آزمایش وبا افزودن وزنه های مناسب روی قاب بارگذاری اعمال می کنیم سپس میخها را بیرون می آوریم وجعبه برش را بیرون می آوریم نمونه آماده برای برش است نیروی برش به صورت افقی وبوسیله موتور الکتریکی با دور معینی اعمال می شود این نیرو وبوسیله حلقه نیرو سنج وجابه جایی بوسیله گیج تغییر شکل افقی اندازه گیری می شود بارگذاری را آنقدر ادامه می دهیم تا اینکه نیروی برش ثابت بماند مادراین آزمایش از $70kg$ خاک ماسه ای استفاده کردیم . سطح قاب $(5 \times 5.4) 27cm^2$ می باشد بارقائم را با $4kg$ آغاز می کنیم . به ازای هر 10 درجه گیج تغییر شکل افقی که معادل 0.1 میلیمتر است یک بار گیج نیروی برش و گیج تغییر شکل قائم خوانده می شود.

نیروی خوانده شده از روی گیج نیروی افقی را باید در ضریب 0.06 ضرب کرد تا بر حسب کیلو گرم بدست آید . و عدد حاصل از دو گیج تغییر شکل را اگر در 0.01 ضرب کنیم بر حسب میلیمتر بدست می آید.

مرحله اول بار ۴ کیلو گرم

قرائت نیروی برشی از روی گیج	نیروی برشی kg	قرائت تغییر مکان افقی از روی گیج	تغییر مکان افقی (mm)	قرائت تغییر مکان قائم از روی گیج	تغییر مکان قائم (mm)	نیروی برشی ماکزیمم از روی نمودار	$\sigma(\frac{kg}{cm^2})$	$\tau(kg/cm^2)$
0	0	0	0	0	0	1.2(kg)	0.148	0.044
2	0.12	10	0.1	0	0			
2.2	0.132	20	0.2	1	0.01			
2.5	0.15	30	0.3	1.5	0.015			
5.5	0.33	40	0.4	3	0.03			
6.5	0.39	50	0.5	4	0.04			
9.33	0.56	60	0.6	4.5	0.045			
11.33	0.68	70	0.7	5	0.05			
13.2	0.79	80	0.8	5.4	0.054			
14	0.84	90	0.9	6	0.06			
14.5	0.87	100	1	6	0.06			
14.8	0.89	110	1.1	6.1	0.061			
15.9	0.95	120	1.2	6.1	0.061			
16.5	1	130	1.3	6.1	0.061			
18	1.08	140	1.4	6	0.06			
19	1.14	150	1.5	5.1	0.051			
19	1.14	160	1.6	5	0.05			
19	1.14	170	1.7	5	0.05			
19	1.14	180	1.8	4.9	0.049			
19	1.14	190	1.9	4.9	0.049			
19	1.14	200	2	4.9	0.049			

مرحله دوم بار ۸ کیلو گرم

0	0	0	0	0	0	2.3(kg)	0.296	0.085
7	0.42	10	0.1	4	0.04			
12	0.72	20	0.2	4.5	0.045			
18	1.08	30	0.3	5	0.05			
22	1.32	40	0.4	5.7	0.057			
24	1.44	50	0.5	6.1	0.061			
27	1.62	60	0.6	6.5	0.065			
29	1.74	70	0.7	6.9	0.069			
31	1.86	80	0.8	6.9	0.069			
33	1.98	90	0.9	5.5	0.055			
33	1.98	100	1	5	0.05			
33	1.98	110	1.1	5	0.05			
33	1.98	120	1.2	4.9	0.049			
34	2.04	130	1.3	4.5	0.045			
35	2.1	140	1.4	3.9	0.039			
38	2.28	150	1.5	2.9	0.029			
39	2.34	160	1.6	2	0.02			
39	2.34	170	1.7	1	0.01			
39	2.34	180	1.8	0	0			
38	2.28	190	1.9	-1	-0.01			
38	2.28	200	2	-2	-0.02			
38	2.28	210	2.1	-3	-0.03			

مرحله سوم بار ۱۲ کیلو گرم

قرائت نیروی برشی از روی گیج	نیروی برشی kg	قرائت تغییر مکان افقی از روی گیج	تغییر مکان افقی (mm)	قرائت تغییر مکان قائم از روی گیج	تغییر مکان قائم (mm)	نیروی برشی ماکزیمم از روی نمودار	$\sigma(\frac{kg}{cm^2})$	$\tau(kg/cm^2)$
0	0	0	0	0	0	2(kg)	0.44	0.074
4.5	0.27	10	0.1	4	0.04			
6.5	0.39	20	0.2	6	0.06			
8	0.48	30	0.3	7	0.07			
9	0.54	40	0.4	7	0.07			
10	0.6	50	0.5	5	0.05			
11	0.66	60	0.6	4	0.04			
12	0.72	70	0.7	9	0.09			
14	0.84	80	0.8	13	0.13			
15	0.9	90	0.9	15	0.15			
16	0.96	100	1	9	0.09			
17.5	1.05	110	1.1	9	0.09			
18	1.08	120	1.2	8	0.08			
19.5	1.17	130	1.3	8	0.08			
20.5	1.23	140	1.4	11	0.11			
21.5	1.29	150	1.5	11	0.11			
23	1.38	160	1.6	14	0.14			
23.8	1.428	170	1.7	15	0.15			
25.5	1.53	180	1.8	14	0.14			
26	1.56	190	1.9	16	0.16			
27	1.62	200	2	15	0.15			
28.1	1.686	210	2.1	17	0.17			
29	1.74	220	2.2	20	0.2			
30.5	1.83	230	2.3	20	0.2			
31	1.86	240	2.4	20	0.2			
31.7	1.902	250	2.5	19	0.19			
32.5	1.95	260	2.6	20	0.2			
33	1.98	270	2.7	18	0.18			

مرحله چهارم ۱۶ کیلو گرم								
قرائت نیروی برشی از روی گیج	نیروی برشی kg	قرائت تغییر مکان افقی از روی گیج	تغییر مکان افقی (mm)	قرائت تغییر مکان قائم از روی گیج	تغییر مکان قائم (mm)	نیروی برشی ماکزیمم از روی نمودار	$\sigma(\frac{kg}{cm^2})$	$\tau(kg/cm^2)$
0	0	0	0	0	0	5.08(kg)	0.593	0.188
26	1.56	10	0.1	0	0			
42	2.52	20	0.2	0	0			
54	3.24	30	0.3	1	0.01			
60	3.6	40	0.4	0	0			
65	3.9	50	0.5	0	0			
68	4.08	60	0.6	2	0.02			
70	4.2	70	0.7	3	0.03			
70.5	4.23	80	0.8	4	0.04			
71.5	4.29	90	0.9	5.5	0.055			
72.5	4.35	100	1	6.5	0.065			
72.5	4.35	110	1.1	7	0.07			
73	4.38	120	1.2	8	0.08			
75	4.5	130	1.3	9	0.09			
77	4.62	140	1.4	10	0.1			
77.5	4.65	150	1.5	11	0.11			
78.5	4.71	160	1.6	11.5	0.115			
78	4.68	170	1.7	12.5	0.125			
77.5	4.65	180	1.8	13	0.13			
77.5	4.65	190	1.9	14	0.14			
78.5	4.71	200	2	14.5	0.145			
79.5	4.77	210	2.1	16	0.16			
80.5	4.83	220	2.2	17	0.17			
81	4.86	230	2.3	17	0.17			
81	4.86	240	2.4	16.5	0.165			
82	4.92	250	2.5	18	0.18			
82	4.92	260	2.6	20.5	0.205			
80.5	4.83	270	2.7	21.5	0.215			
79.5	4.77	280	2.8	22	0.22			

منابع خطا:

- ۱- گیجهای اندازه گیری نیرو و تغییر شکل به درستی تنظیم نشده باشند
- ۲- عمل زهکشی به درستی صورت نگیرد
- ۳- آزمایش کننده در قرائت گیجهای اشتباه کند و یا خطای محاسباتی داشته باشد ، که در مورد این مسئله ، به احتمال قوی خطایی رخ داده است چرا که داده های حاصل از گیج نیروی افقی گروهی که با بار قائم ۱۲ کیلوگرم آزمایش کرده است به شکل غیر قابل قبولی از داده های گروهی که با بار ۸ کیلوگرم آزمایش کرده است کمتر است .